INTERACCIÓN GENOTIPO × AMBIENTE DE GENOTIPOS DE SOYA EN ECUADOR

GENOTYPE × ENVIRONMENT INTERACTION OF SOYBEAN GENOTYPES IN ECUADOR

Vicente F. Painii-Montero[1]*, Félix Camarena-Mayta[2], Olimpa Santillán-Muñóz[1] y Felipe R. Garcés-Fiallos[1, 3]*

[1]Universidad de Guayaquil, Vinces, Ecuador. [2]Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. [3]Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.

**Autores para correspondencia* (vicente.painiim@ug.edu.ec; felipegarces23@yahoo.com)

RESUMEN

La soya [*Glycine max* (L) Merril.] en el Ecuador es uno de los principales cultivos de ciclo corto en la región de la costa, y constituye un importante rubro económico para el país. Se estudiaron siete genotipos de soya desarrollados en la Universidad de Guayaquil, Ecuador, y una variedad comercial para conocer su adaptabilidad y estabilidad fenotípica, productividad de grano y resistencia a la roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). En las temporadas 2015, 2016 y 2017 se sembraron ocho ensayos en ambientes representativos de la provincia de Los Ríos Ecuador, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron características agronómicas de la planta y rendimiento y sus componentes, a los que se les realizó un análisis de la varianza y comparaciones múltiples de medias por la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Adicionalmente, se estudió la asociación entre los componentes del rendimiento mediante correlaciones de Pearson y regresión lineal. Para evaluar la estabilidad genética se empleó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (modelo AMMI). La línea So ITAV 7 obtuvo el mayor rendimiento de grano y fue la más estable. Los genotipos de soya establecidos en la localidad de Vinces obtuvieron la menor severidad de la roya asiática.

Palabras clave: *Glycine max*, adaptabilidad, estabilidad, interacción genotipo-ambiente, roya asiática.

SUMMARY

Soybean [*Glycine max* (L) Merrill.] in Ecuador is one of the main short-cycle crops in the coastal region, and it is an important economic component for the country. Seven soybean genotypes developed at the University of Guayaquil, Ecuador, and a commercial variety were studied to know their adaptability and phenotypic stability, grain productivity and resistance to Asian rust (*Phakopsora pachyrhizi*). In seasons 2015, 2016 and 2017, eight trials were planted in representative environments at the province of Los Ríos, Ecuador under a randomized-complete-blocks design with four replications. Agronomic characteristics of the plants and yield and its components were evaluated and analyzed by analysis of variance and multiple range comparisons by Tukey tests (P ≤ 0.05). Additionally, the association between yield and its components was studied through Pearson correlations and linear regression. To evaluate genetic stability, the model of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI model) was used. The So ITAV 7 line had the highest grain yield and was the most stable. Soybean genotypes established in the Vinces locality displayed the lowest severity of Asian rust.

Index words: *Glycine max*, adaptability, stability, genotype-environment interaction, Asian rust.

INTRODUCCIÓN

La soya [*Glycine max* (L) Merril.] es uno de los principales cultivos de ciclo corto de la costa ecuatoriana y constituye un importante aporte económico para el país. La producción comercial de este cultivo se inició en la década de 1970 con 1227 ha, que alcanzaron en el año 2014 las 28,288 ha cultivadas (León, 2003). El rendimiento nacional de este cultivo durante la época seca del año 2015 alcanzó 2040 kg ha^{-1}; la provincia de Los Ríos es la más productiva del país con 2160 kg ha^{-1}, donde destacan los cantones Vinces y Babahoyo (Moreno y Salvador, 2015). Aunque actualmente el área del país donde se cultiva soya es relativamente pequeña y abarca provincias como Guayas y Los Ríos, existen diferencias ambientales que podrían influenciar la producción de grano (Vera *et al*., 2013).

Diferencias ambientales pueden incidir en la presencia de factores bióticos como la roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), la cual es mayor en lugares con pluviosidad alta. Esta enfermedad, detectada en el año 2005 en la provincia de Los Ríos, es una de las más importantes de esta leguminosa en el país. Desde esa fecha se ha observado un desplome en el rendimiento de la soya, posiblemente ocasionado por la roya asiática (Garcés-Fiallos *et al*., 2014). La roya puede ser directamente influenciada por la frecuencia de lluvias a lo largo del ciclo del cultivo (Del Ponte *et al*., 2006), que puede causar pérdida significativa del área foliar (Garcés y Forcelini, 2011).

Para la selección de nuevas variedades de soya son necesarios estudios regionales (Meotti *et al*., 2012). Actualmente no existe información agronómica, fenológica, sanitaria y productiva de los genotipos empleados en este estudio ni de su estabilidad en interacción con el ambiente. Entre los métodos utilizados en este tipo de

Recibido: 22 de enero de 2018
Aceptado: 5 de septiembre de 2018

investigaciones, están los análisis de estabilidad genotipo × ambiente, que incluyen análisis de varianza (ANOVA), regresión y componentes principales (ACP), así como el método de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI). Este último método combina las técnicas de ANOVA y ACP. El modelo supone componentes aditivos para los efectos principales de los genotipos y componentes multiplicativos para la interacción.

Los modelos AMMI permiten evaluar los efectos de las interacciones genotipo × ambiente de manera simultánea mediante una representación gráfica en diagramas de dispersión multivariante (Yokomizo *et al*., 2013). Los modelos AMMI han sido utilizados para evaluar genotipos de soya y poder determinar la estabilidad del genotipo a recomendar (Amira *et al*., 2013; Meotti *et al*., 2012; Polizel *et al*., 2013). El modelo ha demostrado ser más eficiente que otras técnicas tradicionales como las de Finlay y Wilkinson y de Eberhart y Russell (Giménez *et al*., 2001).

No obstante que en la última década en el Ecuador la disminución de la producción de soya se debió posiblemente a la presencia de la roya asiática (Garcés-Fiallos *et al*., 2014), hasta la fecha no se cuenta en el Ecuador con variedades resistentes o tolerantes a esta enfermedad, a pesar de ser el control genético una de las principales estrategias de manejo. Ante esta problemática nacional, en el año 2006, la Universidad de Guayaquil comenzó los cruzamientos de genotipos de soya pertenecientes a su banco de germoplasma. De esta manera, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la adaptabilidad y estabilidad, potencial agronómico y sanitario de siete líneas de soya en la costa ecuatoriana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de los experimentos

La investigación se realizó durante las temporadas 2015, 2016 y 2017 de la época seca (junio a octubre), en los cantones de Vinces (2015 a 2017), Puebloviejo (2015 a 2017), Babahoyo (2016) y Quevedo (2016), por ser localidades representativas de la provincia de Los Ríos, Ecuador, localizadas en su conjunto entre las coordenadas geográficas 1º 02' y 1º 49' de N y 79º 27' 79º 44' O.

Material experimental

Se utilizaron las líneas So ITAV 1, So ITAV 2, So ITAV 3, So ITAV 4, So ITAV 5, So ITAV 6 y So ITAV 7, desarrolladas en la Universidad de Guayaquil, Ecuador, provenientes de cruzamientos entre los parentales Vinces UG-3 y Vinces UG-2; en lo posterior, se realizaron selecciones sucesivas mediante el método genealógico o de pedigrí hasta llegar a la sexta generación filial. Como testigo se empleó la variedad comercial INIAP-308.

Diseño y unidad experimental

Para cada localidad se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con ocho tratamientos constituidos por los genotipos. La unidad experimental constó de cuatro hileras de 2.4 m, separadas a 0.60 m, que totalizan 14.4 m^2.

Manejo del experimento

En el terreno donde se establecieron los ensayos, se pasó en dos ocasiones la rastra pesada a una profundidad de 25 cm. Las semillas se distribuyeron en hileras a chorro continuo. A los 15 días después de la siembra se raleó dejando 15 plantas por metro lineal, con lo que se obtuvo una población de 250,000 plantas ha^{-1}. Las arvenses se controlaron en preemergencia con Pendimetalin (2.5 L ha^{-1}) y en post-emergencia de forma manual. Para el control de insectos-plagas y enfermedades no fue empleado ningún pesticida, toda vez que su incidencia no llegó al nivel de daño económico. En todos los tratamientos se utilizaron 20 y 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 y K_2O ha^{-1}, respectivamente. Las plantas procedentes del área útil de cada parcela (dos hileras centrales) se cosecharon cuando alcanzaron el estado reproductivo R8 (Fehr *et al*., 1971). Se limpiaron los granos e inmediatamente se pesaron tomando en cuenta su humedad.

Variables registradas

Variables agronómicas

Se registraron las variables: 1) Días a la floración y maduración, se consideró la fecha entre la siembra y el momento en que el 50 % de las plantas florecieron, así como la maduración (vainas completamente secas); 2) Altura de carga en 10 plantas (estado fenológico R8) del área útil, se midió la altura desde la superficie del suelo hasta la inserción de la primera vaina mediante una regla graduada en centímetros; 3) Altura de planta, se midió en cm desde la superficie del suelo hasta la inserción de la última vaina; 4) Vainas por planta y granos por vaina; 5) Peso de 1000 granos (g); 6) Rendimiento de grano (kg ha^{-1}), de todas las plantas de la parcela útil, los valores fueron transformados a kg ha^{-1}, ajustados al 13 % de humedad.

Variable sanitaria

La severidad (%) de la roya (adaptado de Garcés y Reis, 2012) se evaluó en los estados fenológicos R3 (una flor en cualquier nudo), R4 (legumbres de 2 cm en cualquier

nudo) y R6 (legumbres con semillas de color verde, Fehr *et al.*, 1971) en folíolos arrancados del tercio inferior, medio y superior, de 12 plantas ubicadas en las hileras laterales de cada parcela; consistió en la cuantificación del área total necrosada o con pústulas, localizadas en el envés de los folíolos colectados, utilizando un microscopio estereoscopio.

Análisis estadístico

Las variables agronómicas, así como la última evaluación de la severidad de la roya asiática (estado fenológico R6) se sometieron a análisis de varianza y a comparaciones de medias por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Para el rendimiento de grano se estimó el índice ambiental (IA), el cual se obtuvo promediando el rendimiento de los genotipos en cada ambiente; es decir, un promedio general ambiental; posteriormente, al promedio de cada ambiente se le restó el promedio general. El IA puede ser positivo o negativo, que califica a los ambientes en favorable y desfavorable (Sánchez *et al.*, 2009). Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson de las variables vainas por planta, granos por vaina y peso de 1000 granos con el rendimiento de grano. La severidad se relacionó con la variable rendimiento de grano mediante un análisis de regresión lineal simple.

Para evaluar la interacción genotipo-ambiente se empleó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Zobel *et al.*, 1988), representada por la ecuación siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^{p} \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

donde: Yij: es la respuesta media de un genotipo i en un ambiente j; μ: es la media general de las observaciones; g_i: es el efecto del genotipo i; e_j: es el efecto del ambiente j; λ_k: es el valor propio del eje k de componentes principales; γ_{ik}:son los vectores propios unitarios genotípicos asociados a λ_k; α_{jk}: son los vectores propios unitarios ambientales asociados a λ_k; ε_{ij} error del genotipo i en el ambiente j; y p: número de ejes de componentes principales considerados en el modelo AMMI.

RESULTADOS

La variedad INIAP-308 obtuvo la menor altura de carga (12.02 cm) y de planta (53.25 cm), con promedios de todos los genotipos de 16.15 y 68.89 cm, respectivamente. Así mismo, la variedad INIAP-308, con 41.13 d, fue el genotipo más precoz; sin embargo, esta misma variedad alcanzó más tardíamente (111.63 d) el estado fenológico R8 (Cuadro 1).

El número de granos por vainas y rendimiento de grano se diferenció estadísticamente entre genotipos. La línea So ITAV 7, con 2.72, obtuvo el mayor número de granos por vaina. El rendimiento de grano de este genotipo (2917.25 kg ha^{-1}) fue semejante al resto de las líneas, pero mayor estadísticamente a la variedad comercial testigo INIAP-308 (2594.50 kg ha^{-1}, Cuadro 1).

Todas las variables agronómicas fueron mayores en genotipos de soya establecidos en los ambientes de Vinces. El mayor número de vainas por planta fue encontrado en genotipos establecidos en las localidades de Vinces y Babahoyo, temporada 2016. El número de granos por vaina por planta fue mayor en genotipos establecidos en Quevedo y Vinces en la temporada 2016. Independientemente de la temporada, en los genotipos establecidos en la localidad de Vinces se observó un mayor peso de mil granos; en cuanto al rendimiento de grano, el mejor ambiente fue Vinces; por ejemplo, el rendimiento de grano aumentó más de 17 % en genotipos establecidos en la localidad de Vinces temporada 2016, comparadas a las analizadas en la localidad de Puebloviejo temporada 2015 (Cuadro 1). Cabe mencionar que únicamente en estas dos localidades y temporadas se presentó un rendimiento de grano mayor a los 3000 kg ha^{-1}.

El análisis de la varianza conjunto mostró un efecto de los genotipos y el ambiente altamente significativo ($P \leq 0.001$), con 1.61 y 18.34 % de variación del total de la suma de cuadrados. El factor interacción (estabilidad) fue significativo ($P \leq 0.05$), registró 4.92 % de la variación de la suma total de cuadrados (Cuadro 2).

De acuerdo con el índice ambiental, Vinces en todas las temporadas, así como Babahoyo en la temporada 2016, fueron catalogados como clase favorable; mientras que, Puebloviejo en todas sus temporadas y Quevedo 2016 de clase desfavorable.

Se correlacionó significativamente de forma positiva el número de vainas por planta con el número de granos por planta (0.87 $P \leq 0.005$), el peso de 1000 granos (0.76 $P \leq 0.026$) y el rendimiento de grano (0.90 $P \leq 0.002$) en la localidad de Puebloviejo temporada 2017; también, el número de granos por vaina por planta se correlacionó significativamente de forma positiva con el rendimiento de grano en Vinces temporada 2016 (0.83 $P \leq 0.010$) y en Puebloviejo temporada 2017 (0.79 $P \leq 0.019$).

Los primeros síntomas de la roya asiática fueron encontrados en el estado reproductivo R3 y con mayor intensidad en R6. En relación con la severidad de la

Cuadro 1. Características agronómicas y productivas de ocho genotipos de soya establecidos en ocho ambientes de la costa ecuatoriana, en los años 2015 a 2017.

Genotipos	Características agronómicas			
	Altura de carga (cm)	Altura de planta (cm)	Días a la floración	Días a la maduración
		Genotipos		
So ITAV 1	15.94 a	68.65 a	44.38 a	107.25 b
So ITAV 2	16.78 a	70.17 a	44.63 a	107.63 b
So ITAV 3	16.93 a	74.41 a	44.25 a	107.13 b
So ITAV 4	16.65 a	71.08 a	44.63 a	107.25 b
So ITAV 5	16.76 a	70.91 a	44.75 a	107.38 b
So ITAV 6	17.14 a	70.45 a	44.25 a	107.13 b
So ITAV 7	16.94 a	72.19 a	44.50 a	107.13 b
INIAP 308	12.02 b	53.25 b	41.13 b	111.63 a
Promedio	16.15	68.89	44.07	107.82
		Ambientes		
Puebloviejo 2015	11.68 g	85.51 a	42.88 fg	108.75 b
Vinces 2015	12.78 fg	51.86 d	41.75 h	105.50 c
Babahoyo 2016	14.99 de	51.63 d	45.13 bc	106.50 bc
Puebloviejo 2016	19.13 b	76.14 b	42.25 fg	96.13 d
Quevedo 2016	14.34 ef	70.83 b	43.38 de	105.25 c
Vinces 2016	16.90 cd	69.89 b	44.50 cd	107.13 bc
Puebloviejo 2017	17.92 bc	60.58 c	46.13 ab	116.38 a
Vinces 2017	21.44 a	84.68 a	46.50 a	116.88 a
Promedio	16.15	68.89	44.07	107.82
CV (%)	8.43	6.37	1.74	1.52

Valores por columnas con la misma letra no son estadísticamente diferente entre genotipos o ambientes (P ≤ 0.05).

enfermedad, no se observaron diferencias significativas entre los genotipos analizados; sin embargo, una mayor severidad de la roya fue observada en genotipos establecidos en la localidad de Quevedo (Figura 1).

Con base en los modelos de regresión lineal simple obtenidos, la severidad de la roya asiática se relacionó significativamente, de forma negativa, únicamente con las variables número de granos por vaina (P = 0.022) y rendimiento de grano (P ≤ 0.002, Figura 2). Según la ecuación generada entre la severidad de la enfermedad y el rendimiento de grano, el coeficiente de daño fue de 90.09, lo que significa que 1 % de incremento en la severidad puede originar una reducción de grano de 90 kg ha^{-1} (Figura 2).

Según el modelo AMMI, se observó una interacción significativa genotipo × ambiente, donde el primer componente explicó el 51 % de la variabilidad total de la interacción y el segundo el 26 %, explicando conjuntamente el 77 % de la variabilidad total de la interacción (Cuadro 2).

El modelo AMMI aplicado a los valores de rendimiento (Figura 3) muestra el efecto de la interacción genotipo × ambiente, y en el biplot se observaron cinco sectores delimitados por líneas de puntos, en los cuales se agrupan ambientes donde el rendimiento presentó un ordenamiento similar. Cada línea negra con un círculo negro en su punto final representa un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción, los que se representan con un círculo de color gris; por lo tanto, existe mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. En el sector superior derecho se ubican los ambientes Vinces 2015 y Vinces 2017, donde destacan las líneas So ITAV 4 y So ITAV 7. En el sector inferior izquierdo se encuentran los ambientes Vinces 2016 y Puebloviejo 2017, donde destaca el genotipo So ITAV 5.

Los genotipos INIAP-308, So ITAV 1, So ITAV 2, So ITAV 6 y So ITAV 3 se ubican en los vértices del polígono; consecuentemente, tienen mayor interacción en los ambientes de cada sector. Asimismo, se pudo inferir que el genotipo

Cuadro 1. Continuación.

Genotipos	Rendimiento y sus componentes			
	Vainas por planta	Granos por vaina por planta	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento de granos (kg ha^{-1})
		Genotipos		
So ITAV 1	60.73 ns	2.50 b	164.24 ns	2690.38 ab
So ITAV 2	61.72	2.51 b	165.03	2722.50 ab
So ITAV 3	61.36	2.55 b	166.76	2789.00 ab
So ITAV 4	59.34	2.46 b	163.97	2751.25 ab
So ITAV 5	61.68	2.48 b	165.98	2805.13 ab
So ITAV 6	60.52	2.52 b	164.57	2726.50 ab
So ITAV 7	64.89	2.72 a	166.96	2917.25 a
INIAP 308	55.61	2.47 b	158.71	2594.50 b
Promedio	60.73	2.53	164.53	2758.02
		Ambientes		
Puebloviejo 2015	58.75 b	2.69 ab	165.25 b	3300.75 b
Vinces 2015	41.25 c	2.55 cd	134.50 c	2275.00 de
Babahoyo 2016	77.81 a	2.58 abc	164.82 b	2955.88 c
Puebloviejo 2016	65.84 b	2.55 cd	160.59 b	2499.13 d
Quevedo 2016	63.21 b	2.59 ab	141.55 c	2133.75 ef
Vinces 2016	86.34 a	2.71 a	193.47 a	3994.13 a
Puebloviejo 2017	44.70 c	2.11 f	164.99 b	1986.63 f
Vinces 2017	47.92 c	2.43 e	191.06 a	2851.25 c
Promedio	60.73	2.53	164.53	2749.57
CV (%)	9.70	3.89	3.85	6.08

Cuadro 2. Análisis de varianza combinado del rendimiento de grano para ocho genotipos de soya establecidos en ocho ambientes de la costa ecuatoriana, en los años 2015 a 2017.

Fuente de variación	GL	SC	% SC Total explicado	*p*-valor
Genotipos	7	1,968,650.73	1.61	0.0003
Ambientes	7	22,382,469.00	18.34	0.0001
Rep (Ambientes)	28	1,370,825.70	1.12	0.8436
Genotipos × Ambientes	49	5,998,690.88	4.92	0.0030
Error	171	11,581,912.90	9.49	
Total	255	122,037,336.00		
Coeficiente de variación (%)			9.47	
Componentes	Valor	% de varianza de la interacción		% acumulado
CP1	98,773.94	51		51
CP2	50,334.65	26		77
CP3	23,527.22	12		89

GL: grados de libertadM SC: suma de cuadrados; % SC: porcentaje explicado de la suma de cuadrados total; CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2; CP3: componente principal 3.

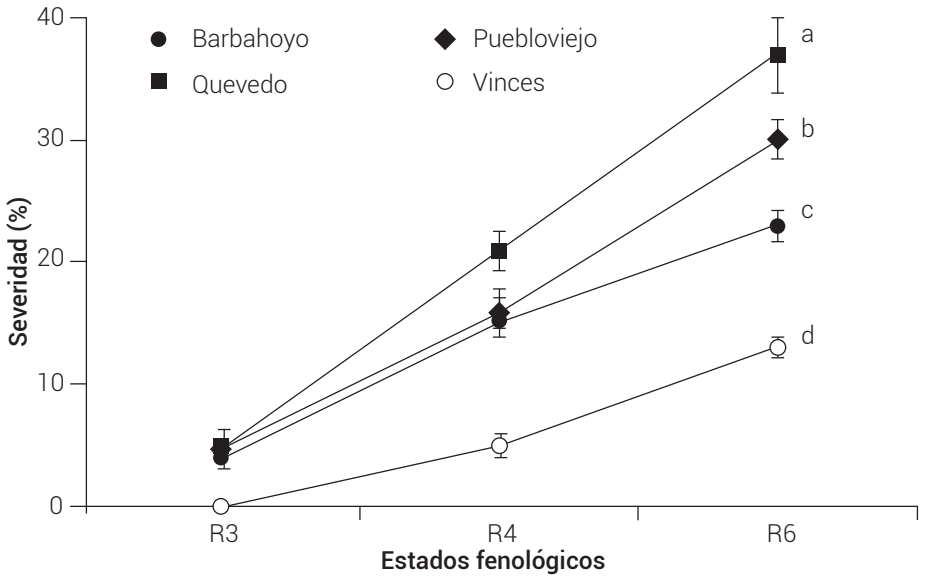


Figura 1. Severidad promedio de roya asiática de ocho genotipos de soya en los estados fenológicos R3 a R6 en cuatro ambientes de la costa ecuatoriana, en los años 2015 a 2017.

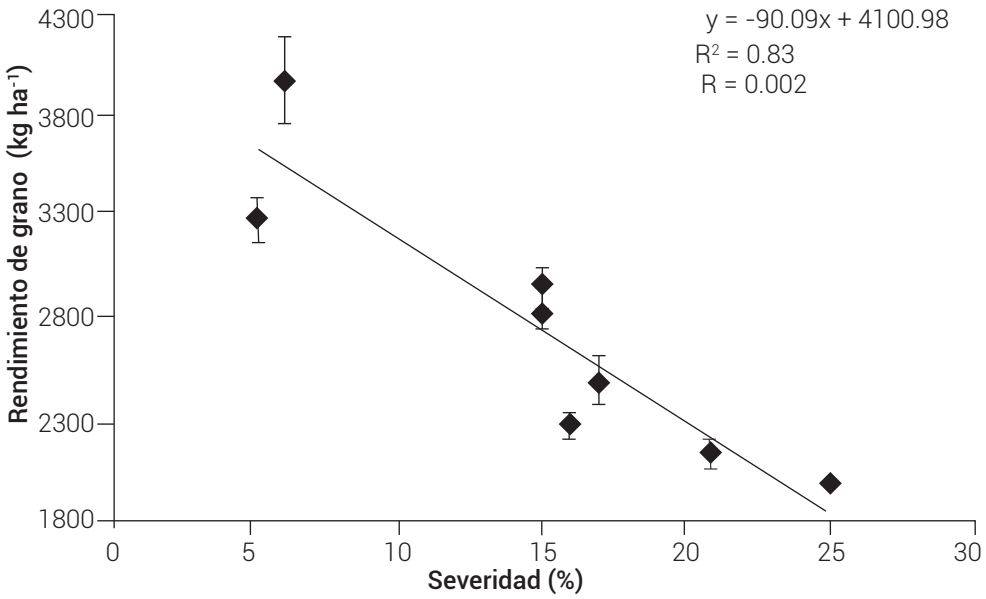


Figura 2. Regresión entre la severidad de la roya asiática y el rendimiento de grano en ocho genotipos de soya, utilizando el promedio de todas las localidades estudiadas durante las temporadas 2015 a 2017.

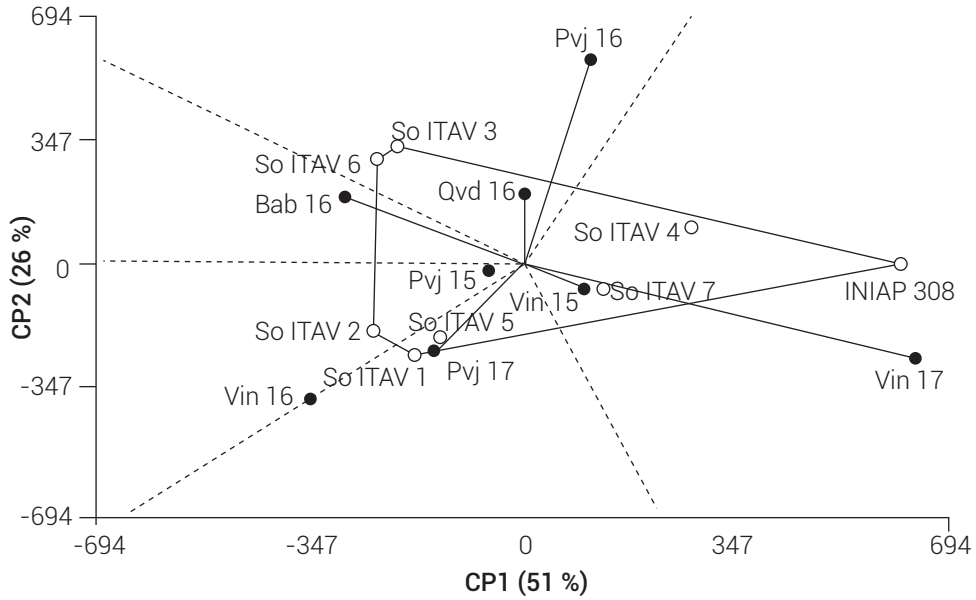


Figura 3. Representación de genotipos y ambientes con respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del modelo AMMI para el rendimiento de grano en ocho ambientes de la costa ecuatoriana, entre los años 2015 a 2017. Ambientes: Vin 15, Vin16, Vin 17, Pvj 15, Pvj 16, Pvj 17, Bab 16, Qvd 16 = Vinces 2015, Vinces 2016, Vinces 2017, Puebloviejo 2015, Puebloviejo 2016, Puebloviejo 2017, Babahoyo 2016, Quevedo 2016.

So ITAV 7 fue el más estable al encontrarse más próximo al origen, en tanto que la mayor distancia agronómica fue encontrada en el genotipo INIAP-308, por presentar los mayores efectos de interacción genotipo × ambiente, y es por ende, menos estable.

Según la ubicación de los genotipos con respecto a los componentes principales, se puede observar que los genotipos INIAP-308 y So ITAV 7 se encuentran en la misma posición en relación con el CP1. Los genotipos So ITAV 1, So ITAV 2, So ITAV 6 y So ITAV 3 tuvieron comportamiento similar con referencia al CP2.

DISCUSIÓN

La variedad INIAP-308 obtuvo la menor altura de carga 12.02 cm, esta variable es una característica preponderante en los sistemas de cosecha mecanizada en el cultivo de soya (Ponce *et al.*, 2002). Se sabe que genotipos con altura de carga inferior a 13 cm originan una reducción en el rendimiento de grano (Maldonado y Ascencio, 2012). Así, cualquiera de las líneas promisorias analizadas en el presente trabajo puede ser utilizada en sistemas de producción mecanizada. Hay que mencionar que tanto la altura de carga como la de planta están determinadas por la genética de los cultivares (Sneller, 1994).

La variedad INIAP-308 alcanzó más tardíamente el estado fenológico R8, con una diferencia de 5 d; aunque se apreció esta divergencia, estos materiales estarían clasificados como semiprecoces (< 118 d), según de Almeida *et al.* (2014).

En el número de granos por vaina, la línea So ITAV 7 alcanzó el mayor promedio, de 2.72 granos, en comparación con el testigo. Este valor es superior al promedio de cinco genotipos reportado por Garcés-Fiallos *et al.* (2014), en las épocas seca (1.7 granos) y lluviosa (2.26 granos), en Quevedo, Ecuador.

El rendimiento de grano es una de las variables más importantes, es un carácter poligénico y depende tanto de la herencia como de los factores agroecológicos (Mundstock y Thomas, 2005). En el presente experimento, el genotipo So ITAV 7 obtuvo el mayor rendimiento de grano, con una media de 2917 kg ha^{-1}. Aunque el promedio de esta línea avanzada fue menor al reportado por Garcés-Fiallos *et al.* (2014), quienes encontraron rendimientos promedios entre 2259 y 3426 kg ha^{-1}, este genotipo mostró ser superior cuando se consideró el análisis promedio de todos los ambientes. Así también, el promedio observado en el genotipo So ITAV 7 está por encima del promedio nacional de 2020 kg ha^{-1} (Monteros, 2016).

En relación con la roya asiática, no se observó diferencia significativa entre genotipos; sin embargo, una mayor severidad de la roya fue observada en genotipos establecidos en la localidad de Quevedo. Posiblemente, la mayor severidad observada en genotipos establecidos en esta

localidad está asociada con la humedad relativa del aire y pluviosidad (Peña-del-Río *et al.*, 2014). De hecho, estos componentes agroclimáticos presentaron medias mayores en localidades como Quevedo y Puebloviejo; inclusive, en Quevedo llovió todos los meses en que fue establecido el experimento.

La roya asiática se relacionó negativamente con el número de granos por vaina y el rendimiento de grano. Aunque autores como Danelli *et al.* (2015) obtuvieron relaciones significativas entre la enfermedad y el rendimiento de grano, aún no existen reportes acerca de la reducción en los componentes de rendimiento. No obstante la falta de estudios más profundos para cuantificar los daños en el rendimiento de grano y sus componentes en genotipos de soya en el Ecuador, los resultados aquí presentados dan una noción científica de la reducción en el rendimiento de grano a causa de la roya asiática.

Con respecto a la variabilidad total, el 77 % obtenido en el biplot conformado por los componentes CP1 y CP2 está de acuerdo con lo mencionado por Arroyo *et al.* (2005), por lo que puede ser aplicado el modelo AMMI en este tipo de estudio.

Se observó una interacción significativa genotipo × ambiente en la que se encontró, incluso, una variación de rendimiento especialmente entre localidades, lo que, como fue explicado anteriormente, se debió posiblemente a la presencia de la roya asiática, pues la incidencia de factores bióticos puede alterar el comportamiento de los genotipos (de Oliveira *et al.*, 2003).

El genotipo So ITAV 7 fue el más estable en el ambiente Vinces durante las temporadas 2015 y 2017, con un rendimiento de grano promedio de 2917 kg ha^{-1}. Es importante recomendar la siembra de un nuevo cultivar de soya cuando existe una estabilidad de producción para garantizar su adecuada explotación (Sediyama *et al.*, 1990); ésto facilitaría la recomendación de los materiales para la zona en estudio, lo que garantiza altos rendimientos cuando el germoplasma sea cultivado en estos ambientes.

Al analizar los ambientes, se encontró que Vinces temporadas 2016 y 2017, así como Puebloviejo temporada 2016, fueron los principales contribuyentes a la interacción genotipo × ambiente. Estos resultados no estuvieron en correspondencia con el índice ambiental, toda vez que bajo este análisis los ambientes Vinces temporadas 2016 y 2017, fueron considerados de clase favorable, excepto Puebloviejo temporada 2016 que se ubica como clase desfavorable. Esta relación divergente de resultados entre ambos análisis es análoga con un trabajo desarrollado en Brasil durante las temporadas 2014 y 2015 en 12 genotipos de soya (Freiria *et al.*, 2018).

Es posible observar que no existe un patrón de agrupamiento en el análisis de componentes principales, donde los ambientes evaluados se distribuyeron en los cuatro cuadrantes. El ambiente Vinces temporada 2017 fue el más variable, en tanto que el ambiente Puebloviejo temporada 2015 presentó la menor variación. Los ambientes con mayores diferencias fueron Babahoyo temporada 2016 y Vinces temporada 2017. En todos los ambientes existen genotipos que producen mejor, esto explica la interacción positiva encontrada.

Aunque existen trabajos como los de Piovesan *et al.* (2009), donde se estudió la estabilidad y adaptabilidad de genotipos de soya en otras latitudes, no existe hasta el momento ningún trabajo de esta naturaleza en el Ecuador, por lo que este estudio es el primero en el país.

CONCLUSIONES

La línea So ITAV 7 obtuvo el mayor rendimiento de grano y estabilidad. En cuanto a los ambientes, Vinces temporada 2017 fue el más variable, y Puebloviejo temporada 2015 registró la menor variación. Los ambientes Babahoyo temporada 2016 y Vinces temporada 2017 registraron las mayores diferencias. Los genotipos de soya establecidos en la localidad de Vinces mostraron la menor severidad de la roya asiática, en comparación con otras localidades.

BIBLIOGRAFÍA

Amira J. O., D. K. Ojo, O. J. Ariyo, O. A. Oduwaye and M. A. Ayo-Vaughan (2013) Relative discriminating powers of GGE and AMMI models in the selection of tropical soybean genotypes. *African Crop Science Journal* 21:67-73.

Arroyo A., C. Bruno, J. Di Rienzo y M. Balzarini (2005) Árboles de expansión mínimos: ayudas para una mejor interpretación de ordenaciones en bancos de germoplasma. *Interciencia* 30:550-554.

Danelli A. L. D., E. M. Reis and C. Boaretto (2015) Critical-point model to estimate yield loss caused by Asian soybean rust. *Summa Phytopathologica* 41:262-269, doi: 10.1590/0100-5405/2003

de Almeida R., F. R. Garcés-Fiallos e C. A. Forcelini (2014) Ocorrência e intensidade de doenças foliares e ciclo de cultivo em seis cultivares de soja durante duas épocas de semeadura. *Ciencia y Tecnología* 7:13-21, doi: 10.18779/cyt.v7i1.94

de Oliveira A. B., J. B. Duarte e J. B. Pinheiro (2003) Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38:357-364, doi: 10.1590/S0100-204X2003000300004

Del Ponte E. M., C. V. Godoy, X. Li and X. B. Yang (2006) Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. *Phytopathology* 96:797-803, doi: 10.1094/PHYTO-96-0797

Fehr W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood and J. S. Pennington (1971) Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science* 11:929-931, doi: 10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x

Freiria G. H., L. S. A. Gonçalves, F. F. Furlan, N. S. Fonseca Jr., W. F. Lima and C. E. C. Prete (2018) Statistical methods to study adaptability and stability in breeding lines of food-type soybeans. *Bragantia* 77:253-264, doi: 10.1590/1678-4499.2017076

Garcés F. F. R. e C. A. Forcelini (2011) Progresso temporal da ferrugem e redução sobre a área foliar e os componentes do rendimento de grãos em soja. *Acta Agronómica* 60:147-157.

Garcés F. R. y E. M. Reis (2012) Umbral numérico de infección de *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow en folíolos de soya. *Avances en Investigación Agropecuaria* 16:79-88.

Garcés-Fiallos F. R., S. A. Ampuño-Muñoz y G. H. Vásconez-Montúfar (2014) Agronomía, producción y calidad de grano de variedades de soya durante dos épocas de cultivo. *Bioscience Journal* 30:717-729.

Giménez F., J. Lúquez y J. C. Suárez (2001) Estabilidad y adaptabilidad de cultivares de soja para rendimiento en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de La Facultad de Agronomía, La Plata* 104:93-103.

León G. M. (2003) Etnicidad y exclusión en Ecuador: una mirada a partir del censo de población 2001. *Iconos. Revista de Ciencias Sociales* 17:116-132, doi: 10.17141/iconos.17.2003.503

Maldonado M. N. y G. Ascencio L. (2012) Tamesí, nueva variedad de soya para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1671-1677.

Meotti G. V., G. Benin, R. R. Silva, E. Beche e L. B. Munaro (2012) Épocas de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47:14-21, doi: 10.1590/S0100-204X2012000100003

Monteros G. A. (2016) Rendimientos de Soya en el Ecuador 2016. (Mayo-septiembre 2016). Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Quito, Ecuador. 8 p. http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_soya_2016.pdf (Diciembre 2017).

Moreno A. B. y S. Salvador S. (2015) Rendimientos y Características de Soya en el Ecuador Verano 2015. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Quito, Ecuador. 7 p. http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_soya.pdf (Diciembre 2017).

Mundstock C. M. e A. L. Thomas (2005) Soja: Fatores que Afetam o Crescimento e o Rendimento de Grãos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Río Grande do Sul, Brasil. 31 p.

Peña-del-Río M. Á., N. Maldonado-Moreno y A. Díaz-Franco (2014) Reacción de germoplasma de soya a *Phakopsora pachyrhizi* en campo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:225-227.

Piovesan P., L. B. de Araújo e C. T. S. Dias (2009) Validação cruzada com correção de autovalores e regressão isotônica nos modelos de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa. *Ciência Rural* 39:1018-1023, doi: 10.1590/S0103-84782009005000081

Polizel A. C., F. C. Juliatti, O. T. Hamawaki, R. L. Hamawaki e S. L. Guimarães (2013) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. *Bioscience Journal* 29:910-920.

Ponce M., R. Ortiz, C. de la Fé y C. Moya (2002) Estudio comparativo de nuevas variedades de soya (*Glycine max* L. Merr) para las condiciones de primavera en Cuba. *Cultivos Tropicales* 23:55-58.

Sánchez J. R., M. R. Devani, F. Ledesma, D. R. Pérez, D. E. Gamboa y L. D. Ploper (2009) Análisis del comportamiento de cultivares comerciales de soja en el noroeste argentino. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 86:17-22.

Sediyama C. S., L. O. de Oliveira e C. D. Cruz (1990) Análise da estabilidade fenotípica de cultivares de soja por meio da regressão linear simples e da regressão linear segmentada. *Revista Ceres* 37:513-518.

Sneller C. H. (1994) Pedigree analysis of elite soybean lines. *Crop Science* 34:1515-1522, doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400060019x

Vera A. D., G. Liuba D., L. Godoy M., E. Díaz O., F. Sabando A., F. Garcés F. y G. Meza B. (2013) Análisis de estabilidad para el rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays*) en la Región Central del Litoral Ecuatoriano. *Scientia Agropecuaria* 4:211-218, doi: 10.17268/sci.agropecu.2013.03.07

Yokomizo G. K. I., J. B. Duarte, N. A. Vello e J. R. Unfried (2013) Análise AMMI da produtividade de grãos em linhagens de soja selecionadas para resistência à ferrugem asiática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48:1376-1384, doi: 10.1590/S0100-204X2013001000009

Zobel R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch (1988) Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80:388-393, doi: 10.2134/agronj1988.00021962008000030002x